·论著·

"Crowbar Effect"技术促进球囊跨过高阻力冠状动脉慢性完全性闭塞病变的有效性和安全性评估研究

刘睿方[1]，徐方兴[1]，刘同库[2]，周玉杰[1]，吴小凡[1*]

【摘要】 **背景** 经皮冠状动脉介入治疗（PCI）开通冠状动脉慢性完全性闭塞（CTO）失败的原因之一是球囊不能跨过 CTO。**目的** 评估"Crowbar Effect"技术促进球囊穿过冠状动脉高阻力 CTO 病变的有效性和安全性，为开通 CTO 提供一种可选择的新技术和提高 CTO 开通的成功率。**方法** 选择 2010 年 1 月—2019 年 1 月在首都医科大学附属北京安贞医院和北华大学附属医院应用前向技术治疗冠状动脉 CTO 病变患者 648 例，其中导丝通过了病变，而球囊不能跨过的高阻力 CTO 病变 84 例（12.96%），对其应用"Crowbar Effect"技术促使小球囊通过 CTO 病变，完成 PCI。观察 PCI 成功率和主要不良心脏事件（MACE）。**结果** 84 例 CTO 病变的 J-score 为（1.63±0.90）分。在第一条导丝成功穿过 CTO 病变后，由于使用了"Crowbar Effect"技术，小球囊穿透 CTO 病变的成功率为 91.67%（77/84）。仍有 7 例（8.33%）失败，其中 2 例因 360 度严重钙化病变和 5 例冠状动脉穿孔而失败。84 例患者未发生围术期心源性死亡和非致死性心肌梗死。**结论** "Crowbar Effect"技术是一种有效且安全的技术，可使小型球囊穿过球囊不可穿透的 CTO 病变。应用这种简单的技术开通 CTO 有很高的成功率和应用价值。

【关键词】 冠状动脉闭塞；冠状动脉慢性完全性闭塞；撬杠作用；冠状动脉介入治疗

【中图分类号】 R 541.4 【文献标识码】 A DOI：10.12114/j.issn.1007-9572.2023.0147

【引用本文】 刘睿方，徐方兴，刘同库，等．"Crowbar Effect"技术促进球囊跨过高阻力冠状动脉慢性完全性闭塞病变的有效性和安全性评估研究［J］．中国全科医学，2023．［Epub ahead of print］．DOI：10.12114/j.issn.1007-9572.2023.0147．［www.chinagp.net］

LIU R F，XU F X，LIU T K，et al. Evaluation of the efficacy and safety of "Crowbar Effect" technique to facilitate balloon crossing resistant chronic total occlusions lesions［J］. Chinese General Practice，2023．［Epub ahead of print］.

Evaluation of the Efficacy and Safety of "Crowbar Effect" Technique to Facilitate Balloon Crossing Resistant Chronic Total Occlusions Lesions

LIU Ruifang[1]，*XU Fangxing*[1]，*LIU Tongku*[2]，*ZHOU Yujie*[1]，*WU Xiaofan*[1*]

1.Department of Cardiology，Beijing Anzhen Hospital，Capital Medical University，Beijing100029，China

2.Heart Center，Affiliated Hospital of Beihua University，Jilin132011，China

[*]Corresponding author：WU Xiaofan，Chief physician；E-mail：drwuxiaofan@163.com

【Abstract】 **Background** The inability of the balloon to cross coronary chronic total occlusion（CTO）lesions is one of the reasons for the failure of percutaneous coronary intervention（PCI）in the revascularization of CTO. **Objective** To evaluate the efficacy and safety of the "Crowbar Effect" technique to facilitate balloon crossing resistant CTO lesions，so as to provide an alternative novel technique for CTO recanalization and improving the success rate of CTO recanalization. **Methods** A total of 648 patients with coronary artery CTO lesions treated by antegrade approach at Beijing Anzhen Hospital，Capital Medical University and the Affiliated Hospital of Beihua University from January 2010 to January 2019 were collected，84（12.96%）cases of whom suffered from resistant CTO lesions which could be not crossed with balloon after the first guide wire successfully crossed the lesions. The "Crowbar Effect" technique was applied to those patients to facilitate the small-sized balloon crossing CTO lesions to complete PCI. The success rate of PCI and incidence of major adverse cardiac events（MACE） were observed. **Results** The average J-score of CTO lesions in 84 patients was （1.63±0.90）. After successful crossing of the first guide wire through the CTO lesions，the success rate of small-sized balloon crossing CTO lesions was 91.67%（77/84） due to the use of "Crowbar Effect" technique. There were still failures in 7 cases（8.33%），including 2 cases caused by 360-degree severe calcified lesions and 5 cases caused by coronary artery perforation. No perioperative cardiac death or nonfatal myocardial infarction occurred in 84 patients. **Conclusion** The "Crowbar Effect" technique is effective and safe in facilitating small-sized balloons

---

1.100029 北京市，首都医科大学附属北京安贞医院心内科 2.132011 吉林省吉林市，北华大学附属医院心脏中心

[*]通信作者：吴小凡，主任医师；E-mail：drwuxiaofan@163.com

本文数字出版日期：2023-04-26

to cross balloon uncrossable CTO lesions. The application of this simple technique has a high success rate and application value for CTO recanalization.

【Key words】 Coronary occlusion; Coronary chronic total occlusions; Crowbar Effect; Percutaneous coronary intervention

冠状动脉慢性完全性闭塞（chronic total occlusion，CTO）病变是指冠状动脉血管闭塞时间超过3个月的病变[1]。闭塞程度包括前向性血流为急性心肌梗死溶栓试验（thrombolysis in myocardial infarction，TIMI）[2]血流分级TIMI 0级的绝对性闭塞和TIMI血流Ⅰ级的功能性闭塞。后者实际上闭塞的血管腔的微量灌注血流无供血功能。开通CTO病变可以有效地缓解心绞痛症状，改善心肌重构和改善左室射血功能[3-4]。

经皮冠状动脉介入治疗（percutaneous coronary intervention，PCI）开通CTO血管存在诸多困难和较低的成功率，被认为是PCI领域最大的障碍和挑战[5-7]。PCI开通CTO失败的主要原因之一是球囊不能跨过CTO[8-9]。在临床实践中，有10%的CTO病变是导丝能通过病变，后续球囊难以跨过病变，使PCI失败[10-11]。为了提高CTO血管再开通的成功率，目前已经开发了多种技术来处理这种球囊不能通过的CTO病变。例如，增强指引导管的支撑力、应用延长导管（guidezilla）、tounas、多导丝挤压、双导丝球囊切割、边支锚定、支架导丝锚定等技术。本研究应用一种简单、安全、有效的“Crowbar Effect”新技术，使经皮腔内冠状动脉成形术（percutaneous transluminal coronary angioplasty，PTCA）球囊成功跨过高阻力CTO病变，提高正向方法开通CTO病变的成功率，希望能成为开通高阻力CTO血管手术中的一种备选的方法。

1 资料与方法

1.1 研究对象　选择2010年1月—2019年1月在首都医科大学附属北京安贞医院和北华大学附属医院应用前向技术治疗冠状动脉CTO病变患者648例，其中导丝通过了病变，而球囊不能跨过的高阻力CTO病变84例（12.96%），应用“Crowbar Effect”技术促使小球囊通过CTO病变，完成PCI手术。根据CTO靶血管的不同，分为右冠状动脉（RCA）、左前降支（LAD）和左回旋支（LCX）。

1.2 CTO和球囊不能跨过的CTO病变的定义　冠状动脉造影（coronary arteriography，CAG）显示RCA、LAD、LCX任何一支或一支以上血管的前向血流为TIMI 0级或1级，血管闭塞时间超过3个月即诊断为CTO。CTO病程的估计：有明确的心肌梗死（myocardial infarction，MI）病史未接受过PCI治疗者或PCI治疗失败者，可依据MI发病日期估计其CTO病史时间长度；无明确的MI病史者，依据其心绞痛症状出现时间和加重时间判断CTO病史时间长度。球囊不能跨过的CTO病变指导丝通过了CTO病变，在指引导管提供最佳支撑的情况下，小球囊（直径1.0~1.5 mm）不能进入CTO血管段[12]。所有患者的诊断符合AHA/ACC和ESC非ST段抬高ACS指南中的诊断标准[13-14]。心绞痛症状符合加拿大心绞痛症状分级标准[15]的2~4级。所有患者有明确的劳力性心绞痛病史3个月以上或有明确的陈旧性心肌梗死（OMI）病史。

1.3 CTO病变的J-score评分　应用J-score评价PCI开通CTO血管段的困难程度。J-score评分包括5项[16]：（1）近端纤维帽圆钝1分；（2）迂曲角度>45°　1分；（3）闭塞的血管段长度>20 mm 1分；（4）CTO病变出现钙化1分；（5）此前PCI尝试失败的病变1分。0分为容易开通；1分为中等难度；2分为困难，≥3分为很难开通。本研究选择的病例均为≤3分。

1.4 冠状动脉解剖学分段　AHA/ACC制定的冠状动脉解剖学分段方法[17]，将冠状动脉分为1~15段。RCA划分为第1~4段，左主干（LM）为第5段，LAD为第6~10段，LCX为第11~15段。

1.5 PCI围术期用药和PCI手术方法　全部患者PCI术前24 h内常规口服负荷量硫酸氢氯吡格雷600 mg和阿司匹林300 mg。PCI次日起口服硫酸氢氯吡格雷75 mg和阿司匹林100 mg，1次/d，手术成功者术后继续服用12个月或以上。PCI入路，6例（7.14%）选择股动脉，78例（92.86%）选择右桡动脉或右肱动脉。按照常规PCI技术实施手术。PCI术中经静脉注入肝素钠100 U/kg，手术时间每持续1 h追加肝素钠1 000 U，维持全血凝固时间（ACT）在350~500 s。

1.6 指引导管选择　LAD和LCX病变者选用6F XB、EBU或BL指引导管。RCA常规选择6F JR、BL、MAC、AL或SAL指引导管。当指引导管支撑力不够时，采用深插技术或应用guidezilla延长导管增加指引导管的主动支撑力。

1.7 “Crowbar Effect”技术操作要点　首先选择较软的PCI导丝（guide wire，GW）通过病变（如fielder XT或XTR，SION blue，Pilot50，runthrough等导丝），如果失败则换用较硬的导丝（如Pilot150或Pilot200，Gaia 2或Gaia 3，Progress 80等导丝）通过CTO血管段。判断GW走行在远端的真腔内后，推送球囊不能通过病变时，再选择第2条亲水涂层的较硬的GW沿着第1条GW的踪迹通过病变到达远端。之后撤出1条GW，再次推送1.5

mm×15 mm 小球囊（通常选择通过性较好的 Maverick 球囊）仍不能进入病变时，这时选择 1 条中等硬度的 GW 沿着第 1 条 GW 的踪迹通过病变到达远端真腔，再插入第 3 条较硬的 GW 以同样的方法通过病变到达远端真腔。然后应用 1.5 mm×15 mm Maverick 球囊保持一定推送力的状态下高压（12~16 atm）反复扩张，每次扩张均会使球囊前进 1~2 mm，直至球囊进入并通过病变。之后撤出较硬的导丝，保留一条较软的导丝，换用较大的球囊（通常应用 2.0 mm×20 mm）对病变进行预扩张并植入 DES。此种小球囊高压扩张的力量推动另外两条导丝撬开致密的坚硬的病变组织，由近至远，使其形成小球囊能进入的通道，此种作用称为“Crowbar Effect”（图 1 和图 2）。如此反复操作，球囊不能通过，则放弃，为 PCI 失败。

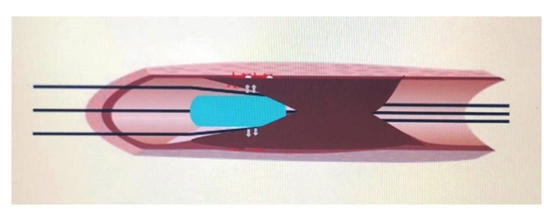


图 1 “Crowbar Effect”原理示意图
Figure 1 Principle diagram of “Crowbar Effect”

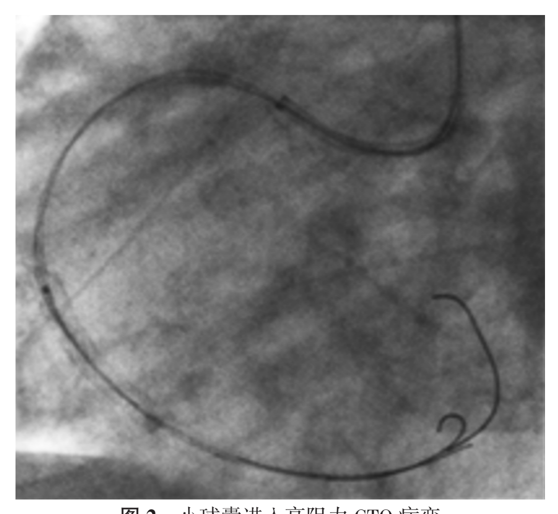


图 2 小球囊进入高阻力 CTO 病变
Figure 2 Small balloon entering into resistant CTO lesion

1.8 PCI 成功的定义 符合以下 7 项标准定义为 PCI 成功：（1）正向 GW 通过 CTO 病变到达远端的真腔；（2）PTCA 球囊沿着导丝向前推送进入 CTO 病变和通过 CTO 病变；（3）成功进行 PTCA，实现 CTO 病变的预扩张；（4）成功植入 DES；（5）靶病变血管残余狭窄 <10%；（6）靶病变血管血流达到 TIMI 3 级；（7）术中无 PCI 并发症。住院期间未发生主要不良心脏事件（MACE），包括心源性死亡、非致死性心肌梗死及需要停止 PCI 手术进行特殊处理的冠状动脉穿孔。

1.9 统计学方法 全部数据输入 SPSS 17.0 统计软件进行处理。计数资料以相对数表示，组间比较采用 χ^2 检验；计量资料采用（$\bar{x}\pm s$）表示，两组间比较采用独立样本 t 检验。以 $P<0.05$ 为差异有统计学意义。

2 结果

2.1 基线资料 84 例患者中男 56 例（66.67%），女 28 例（33.33%）；年龄 47~86 岁，平均年龄（64.3±11.8）岁；既往接受过 PCI 治疗（PCI 史）10 例（11.90%）；估计的 CTO 病程为 5~96 个月，平均为（35.83±26.49）个月，≤6 个月 10 例（11.90%），>6 个月 74 例（83.33%）；吸烟 45 例（53.57%），高血压 33 例（39.29%），高血脂 23 例（27.38%），糖尿病 32 例（38.10%），脑卒中 11 例（13.10%），OMI 57 例（67.86%），PCI 史 10 例（11.90%），稳定性心绞痛 3 例（3.57%），不稳定性心绞痛 60 例（71.43%），NSTEMI 21 例（25.00%）。

2.2 CAG 结果 84 例球囊不能通过的高阻力 CTO 病变靶血管分布是 RCA 43 例（51.19%），其中 RCA 第 1 段 14 例（32.56%），2 段 19 例（44.19%），3 段 10 例（6.98%）；LAD 19 例（22.62%），其中 LAD 6 段 7 例（36.84%），7 段 12 例（63.16%）；LCX 22 例（26.19%），其中 LCX 第 11 段 6 例（27.27%），12 段 4 例（18.18%），13 段 12 例（54.55%）。CAG 显示 84 例高阻力 CTO 病变的冠状动脉血流均为 TIMI 0 级。72 例（85.71%）有来自对侧或同侧的侧枝循环逆行灌注使其 CTO 病变远端或末梢分支显影，其中 RCA 37 例（86.05%），LAD 17 例（89.47%），LCX 18 例（81.82%）。

2.3 CTO 病变的 J-score 评分 入选的 84 例 CTO 病变的 J-score 为（1.63±0.90）分，其中 15.48% 的病变为

表 1 不同 CTO 病变部位 J-score 评分比较
Table 1 Comparison of J-score in different lesions

病变部位	例数	J-score 评分〔n（%）〕				平均分（$\bar{x}\pm s$，分）
		0 分	1 分	2 分	3 分	
RCA	43	5（11.63）	9（20.93）	22（51.16）	7（16.28）	1.72±0.88
LAD	19	2（10.53）	3（15.79）	13（68.42）	1（5.26）	1.68±0.75
LCX	22	6（27.27）	4（18.18）	9（40.91）	3（13.64）	1.41±1.05
合计	84	13（15.48）	16（19.05）	44（52.38）	11（13.10）	1.63±0.90

注：RCA= 右冠状动脉，LAD= 左前降支，LCX= 左回旋支。

0 分，19.05% 的病变为 1 分，52.38% 的病变为 2 分，13.10% 的病变为 3 分（表 1）。RCA 和 LAD、LAD 和 LCX、RCA 和 LCX 的 J-score 比较，差异均无统计学意义（t=0.935，P=0.352；t=0.291，P=0.772；t=1.349，P=0.181）。

2.4 PCI 成功率和冠状动脉穿孔发生率 84 例患者中，PCI 成功 77 例（91.67%），PCI 失败 7 例（8.33%），见表 2。RCA 和 LAD、LAD 和 LCX、RCA 和 LCX 的 PCI 成功率比较，差异均无统计学意义（χ^2=0.212，P=0.645；χ^2=0.155，P=0.694；χ^2=0.022，P=0.881）。PCI 失败的病例中，2 例是小球囊无法通过（因为病变处严重 360° 钙化，反复操作球囊仍不能进入病变，放弃）和 5 例因冠状动脉穿孔停止了 PCI。

表 2 球囊通过高阻力 CTO 病变成功率和冠脉穿孔发生率
Table 2 Success rate of balloon crossing resistant CTO lessions and incidence rate of coronary artery perforation

病变部位	例数	加压次数（次）	成功率〔n（%）〕	未成功〔n（%）〕	穿孔率〔n（%）〕
RCA	43	10.37 ± 3.31	40（93.02）	3（6.98）	3（6.98）
LAD	19	9.74 ± 2.62	17（89.47）	2（10.53）	1（5.26）
LCX	22	9.59 ± 3.19	20（90.91）	2（9.09）	1（4.55）
合计	84	10.02 ± 3.12	77（91.67）	7（8.33）	5（5.95）

2.5 MACE 发生率 84 例患者未发生围术期心源性死亡和非致死性心肌梗死。PCI 术中有 5 例（5.95%）发生冠状动脉穿孔，可见造影剂外漏，经适当处理后（小球囊封堵 10~20min，同时使用鱼精蛋白中和肝素）穿孔闭合，停止 PCI，未发生血液动力学紊乱，无不良后果。

3 讨论

3.1 CTO 病变开通的意义和开通 CTO 的成功率 现代研究已经证实开通冠状动脉 CTO 病变，可以改善缺血部位心肌的血液供应和形成多交通侧枝循环，可缓解患者心绞痛症状，改善左室功能和患者的预后等[18-19]。然而，由于 CTO 病变是由动脉粥样硬化斑块、血栓形成和纤维内膜增殖所致复杂性病变，使 PCI 开通 CTO 病变的难度增大，X 线曝光时间长，成功率较低、并发症较高，成为冠脉介入治疗中的挑战性病变[20]。近 10 年来，随着 CTO 器械的进步，合理选择的 CTO-PCI 治疗成功率显著提升。文献报告 CTO 开通的成功率为 70%~90%[21]。HAN 等[22]报告了单中心注册 PCI 治疗 CTO 患者 1 263 例，成功开通 CTO 病变血管 1 147 例，成功开通率为 90.8%，是成功率最高的一组注册研究报告。MORINO 等[23]报告日本多中心注册研究 CTO-PCI 成功率为 86.6%。加拿大多中心注册研究报告 PCI 治疗 CTO 病变的开通率为 70%[24]。总的说来，CTO-PCI 的成功率与 CTO 病变选择标准有关，还与术者的经验和技术熟练程度有关。本研究纳入 J-score 评分≤ 3 分的病例，其中 86.91%（73/84）的病例 J-score ≤ 2 分，是困难度不大的病例。所以正向开通的成功率较高（98.92%）。建议应结合患者临床特点（有典型的心绞痛症状）及造影特点（J-score），选择成功率高、患者获益显著的 CTO 病例行 PCI 治疗。

3.2 CTO-PCI 失败的主要原因 CTO-PCI 手术失败的主要原因有 3 点：第一是导丝不能通过 CTO 病变到达远端的真腔；第二是导丝通过 CTO 闭塞段后，球囊不能通过 CTO 病变；第三是球囊不能扩张开 CTO 病变[25]。球囊不能进入 CTO 病变的原因包括；（1）长病变（长度 >20 mm）伴有纤维化和钙化；（2）血管迂曲的纤维钙化性病变；（3）成角度的血管伴有钙化病变等原因。文献报告球囊不能通过 CTO 病变的发生率为 6%~10%[11]，其发生率与病例的选者有关。本研究 648 例 CTO 病例中有 84 例（12.96%）球囊不能通过。这与所选择的 CTO 病例的 J-core 评分≤ 2 分的病例数多（65.48%）有关。使用“Crowbar Effect”技术，使球囊通过了 91.67% 的 CTO 病变。表明该技术的有效性和适用性。

3.3 促进球囊通过 CTO 病变的策略 当小球囊不能通过 CTO 病变时，可以采取：（1）更换支撑力强的指引导管（例如 EBU、Amplatz、XB、MAC 等）来解决这个问题。然而，更换指引导管，会面临导丝再进入困难或失去导丝已在远端真腔内的风险；（2）考虑使用延长导管（例如，GuideLiner、TrapLiner、Guidezilla 等导管）作为辅助方法[26]；（3）考虑使用小球囊（直径 1.5~2.0 mm）做侧枝锚定来进一步增加支撑力；（4）使用微导管通过病变（如 Tornus、corsair、Finecross 微导管等）[27]；（5）应用双导丝技术（如“buddy wire”、“wire cutting”或“see-saw wire-cutting”技术等）[28-30]；（6）使用准分子激光或旋磨技术[31-32]。但是，在微导管未能成功通过 CTO 病变情况下，更换旋磨导丝的操作会很困难，有使原来的导丝失去真腔的风险。这些解决球囊不能跨越 CTO 的方法，当受某些客观条件的限制时，常不能发挥作用。应用“Crowbar Effect”技术可使球囊通过高阻力 CTO 病变，改善 CTO 病变患者 PCI 手术成功率[33]。

“Crowbar Effect”主要操作要点是当使用单导丝或双导丝通过 CTO 病变进入远端真腔时，而后续的 PTCA 球囊不能跨过病变时，再插入第三条导丝使其沿着原导丝的踪迹到达远端真腔。沿着其中 1 条导丝送入小球囊（常用 1.5 mm × 15 mm Maverick 球囊）并在保持一定推送力的状态下，高压（12~16 atm）反复充容球囊（5 s/ 次）。每次高压扩张后回抽球囊，会使球囊前进 1~2 mm。如此反复操作，球囊由近至远缓慢通过病变，实

现小球囊跨过病变和预扩张病变，开通 CTO 血管。本研究的结果表明了这种方法简便、安全、有效。

综上所述，"Crowbar Effect"技术是一种有效且安全的技术，可使小型球囊穿过球囊不可穿透的 CTO 病变。应用这种简单的技术开通 CTO 病变，有很高的成功率和应用价值。但本研究结果仅表明了该方法的有效性和安全性，没有与其他方法进行比较，故不能证明该方法优于其他方法，只证明该方法可以作为处理高阻力性 CTO 病变一种可以选择的技术。

作者贡献：刘睿方、徐方兴、周玉杰提出研究设计思路；所有作者参与手术操作、资料收集和整理；刘睿方、吴小凡负责起草文章；刘同库、周玉杰审阅手稿和提出修改意见。

本文无利益冲突。

参考文献

[1] DAVE B. Recanalization of chronic total occlusion lesions: a critical appraisal of current devices and techniques [J]. J Clin Diagn Res, 2016, 10 (9): OE01-07. DOI: 10.7860/JCDR/2016/21853.8396.

[2] SABATINE M S, BRAUNWALD E. Thrombolysis in myocardial infarction (TIMI) study group: JACC focus seminar 2/8 [J]. J Am Coll Cardiol, 2021, 77 (22): 2822-2845. DOI: 10.1016/j.jacc.2021.01.060.

[3] GALASSI A R, BOUKHRIS M, TOMA A, et al. Percutaneous coronary intervention of chronic total occlusions in patients with low left ventricular ejection fraction [J]. JACC Cardiovasc Interv, 2017, 10 (21): 2158-2170. DOI: 10.1016/j.jcin.2017.06.058.

[4] MEGALY M, SAAD M, TAJTI P, et al. Meta-analysis of the impact of successful chronic total occlusion percutaneous coronary intervention on left ventricular systolic function and reverse remodeling [J]. J Interv Cardiol, 2018, 31 (5): 562-571. DOI: 10.1111/joic.12538.

[5] AZZALINI L, KARMPALIOTIS D, SANTIAGO R, et al. Contemporary issues in chronic total occlusion percutaneous coronary intervention [J]. JACC Cardiovasc Interv, 2022, 15 (1): 1-21. DOI: 10.1016/j.jcin.2021.09.027.

[6] GÜLKER J E, BANSEMIR L, KLUES H G, et al. Chronic total coronary occlusion recanalization: current techniques and new devices [J]. J Saudi Heart Assoc, 2017, 29 (2): 110-115. DOI: 10.1016/j.jsha.2016.08.003.

[7] HANRATTY C G, WALSH S J. Common and Uncommon CTO Complications[J]. Interventional Cardiology Review, 2018, 13(3): 121 - 125. DOI: org/10.15420/icr.2018.10.2.

[8] STRAUSS B H, ELBAZ-GREENER G. Strategies for balloon-uncrossable chronic total occlusion lesions [J]. Cardiovasc Revasc Med, 2018, 19 (7 Pt B): 816-817. DOI: 10.1016/j.carrev.2018.10.027.

[9] TAJTI P, KARMPALIOTIS D, ALASWAD K, et al. The hybrid approach to chronic total occlusion percutaneous coronary intervention: update from the PROGRESS CTO registry [J]. JACC Cardiovasc Interv, 2018, 11 (14): 1325-1335. DOI: 10.1016/j.jcin.2018.02.036.

[10] KOELBL C O, NEDELJKOVIC Z S, JACOBS A K. Coronary chronic total occlusion (CTO): a review [J]. Rev Cardiovasc Med, 2018, 19 (1): 33-39. DOI: 10.31083/j.rcm.2018.01.896.

[11] DASH D. Interventional management of "balloon-uncrossable" coronary chronic total occlusion: is there any way out? [J]. Korean Circ J, 2018, 48 (4): 277-286. DOI: 10.4070/kcj.2017.0345.

[12] MCQUILLAN C, JACKSON M W P, BRILAKIS E S, et al. Uncrossable and undilatable lesions-a practical approach to optimizing outcomes in PCI [J]. Catheter Cardiovasc Interv, 2021, 97 (1): 121-126. DOI: 10.1002/ccd.29001.

[13] AMSTERDAM E A, WENGER N K, BRINDIS R G, et al. 2014 AHA/ACC guideline for the management of patients with non-ST-elevation acute coronary syndromes: executive summary: a report of the American College of Cardiology/American Heart Association Task Force on Practice Guidelines[J]. Circulation, 2014, 130(25): 2354-2394. DOI: 10.1161/CIR.0000000000000133.

[14] NADARAJAH R, GALE C. The management of acute coronary syndromes in patients presenting without persistent ST-segment elevation: key points from the ESC 2020 Clinical Practice Guidelines for the general and emergency physician [J]. Clin Med (Lond), 2021, 21 (2): e206-e211. DOI: 10.7861/clinmed.2020-0879.

[15] SMITH E R. The angina grading system of the Canadian Cardiovascular Society [J]. Can J Cardiol, 2002, 18 (4): 439, 442.

[16] MORINO Y, ABE M, MORIMOTO T, et al. Predicting successful guidewire crossing through chronic total occlusion of native coronary lesions within 30 minutes: the J-CTO (Multicenter CTO Registry in Japan) score as a difficulty grading and time assessment tool [J]. JACC Cardiovasc Interv, 2011, 4 (2): 213-221. DOI: 10.1016/j.jcin.2010.09.024.

[17] AUSTEN W G, EDWARDS J E, FRYE R L, et al. A reporting system on patients evaluated for coronary artery disease. Report of the Ad Hoc Committee for Grading of Coronary Artery Disease, Council on Cardiovascular Surgery, American Heart Association [J]. Circulation, 1975, 51 (4 Suppl): 5-40. DOI: 10.1161/01.cir.51.4.5.

[18] EL AWADY W S, SAMY M, AL-DAYDAMONY M M, et al. Periprocedural and clinical outcomes of percutaneous coronary intervention of chronic total occlusions in patients with low- and mid-range ejection fractions [J]. Egypt Heart J, 2020, 72 (1): 28. DOI: 10.1186/s43044-020-00065-1.

[19] JONES D A, WEERACKODY R, RATHOD K, et al. Successful recanalization of chronic total occlusions is associated with improved long-term survival [J]. JACC Cardiovasc Interv, 2012, 5 (4): 380-388. DOI: 10.1016/j.jcin.2012.01.012.

[20] GOLEMATI S, SANIDAS E A, DANGAS G D. Long-term clinical outcomes after percutaneous coronary intervention for chronic total occlusions [J]. Curr Cardiol Rep, 2014, 16 (2): 450. DOI: 10.1007/s11886-013-0450-7.

[21] AZZALINI L, CARLINO M, BELLINI B, et al. Long-term outcomes of chronic total occlusion recanalization versus

percutaneous coronary intervention for complex non-occlusive coronary artery disease [J] . Am J Cardiol，2020，125（2）：182-188. DOI：10.1016/j.amjcard.2019.10.034.

[22] HAN Y L，WANG S L，JING Q M，et al. Percutaneous coronary intervention for chronic total occlusion in 1263 patients：a single-center report [J] . Chin Med J （Engl），2006，119（14）：1165-1170.

[23] MORINO Y，KIMURA T，HAYASHI Y，et al. In-hospital outcomes of contemporary percutaneous coronary intervention in patients with chronic total occlusion insights from the J-CTO Registry （Multicenter CTO Registry in Japan） [J] . JACC Cardiovasc Interv，2010，3（2）：143-151. DOI：10.1016/j.jcin.2009.10.029.

[24] FEFER P，KNUDTSON M L，CHEEMA A N，et al. Current perspectives on coronary chronic total occlusions：the Canadian Multicenter Chronic Total Occlusions Registry [J] . J Am Coll Cardiol，2012，59（11）：991-997. DOI：10.1016/j.jacc.2011.12.007.

[25] KARATASAKIS A，DANEK B A，KARMPALIOTIS D，et al. Approach to CTO intervention：overview of techniques [J] . Curr Treat Options Cardiovasc Med，2017，19（1）：1. DOI：10.1007/s11936-017-0501-2.

[26] HUANG Z H，ZHANG B，CHAI W L，et al. Usefulness and safety of a novel modification of the retrograde approach for the long tortuous chronic total occlusion of coronary arteries [J] . Int Heart J，2017，58（3）：351-356. DOI：10.1536/ihj.16-337.

[27] KIRTANE A J，STONE G W. The Anchor-Tornus technique：a novel approach to “uncrossable” chronic total occlusions [J] . Catheter Cardiovasc Interv，2007，70（4）：554-557. DOI：10.1002/ccd.21138.

[28] KHELIMSKII D，BADOYAN A，KRESTYANINOV O. The deep-wire crossing technique：a novel method for treating balloon-uncrossable lesions [J] . J Invasive Cardiol，2019，31（12）：E362-E368.

[29] IANNACCONE G，SCARPARO P，WILSCHUT J，et al. Current approaches for treatment of coronary chronic occlusions [J] . Expert Rev Med Devices，2019，16（11）：941-954. DOI：10.1080/17434440.2019.1676729.

[30] XUE J Y，LI J Q，WANG H J，et al. “Seesaw balloon-wire cutting” technique is superior to Tornus catheter in balloon uncrossable chronic total occlusions [J] . Int J Cardiol，2017，228：523-527. DOI：10.1016/j.ijcard.2016.10.107.

[31] MCQUILLAN C，FARAG M，EGRED M. Excimer laser coronary angioplasty：clinical applications and procedural outcome，in a large-volume tertiary centre [J] . Cardiology，2021，146（2）：137-143. DOI：10.1159/000513142.

[32] KARACSONYI J，KARMPALIOTIS D，ALASWAD K，et al. Prevalence，indications and management of balloon uncrossable chronic total occlusions：insights from a contemporary multicenter US registry [J] . Catheter Cardiovasc Interv，2017，90（1）：12-20. DOI：10.1002/ccd.26780.

[33] LIU R F，XU F X，LIU T K. Novel ‘crowbar effect’ approach to improve success rate of recanalization of coronary chronic total occlusions [J] . Technol Health Care，2015，23（Suppl 2）：S223-230. DOI：10.3233/THC-150957.

（收稿日期：2023-01-20；修回日期：2023-03-29）
（本文编辑：贾萌萌）